



## 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

개방스터브와 분리형 링 공진기를  
이용한 마이크로스트립 대역통과필터

Microstrip Bandpass Filter Using  
Open Stub and Split Ring Resonator



2013년 6월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

유 은 혜

본 논문을 유은혜의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2013년 06월 18일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

## Abstract

1장 서 론 . . . . .	1
1.1 연구배경 . . . . .	1
1.2 연구개요 . . . . .	3
2장 필터 구조별 특성분석 . . . . .	4
2.1 $\lambda_g/4$ 개방스터브를 사용한 대역저지 필터 . . . . .	7
2.2 링공진기를 사용한 대역저지 필터 . . . . .	18
2.3 결합전송선로를 사용한 고역통과 필터 . . . . .	23
3장 대역통과필터 설계 및 제작 . . . . .	24
3.1 개방스터브와 분리형링공진기를 결합한 대역통과필터	25
3.1.1 $\lambda_g/4$ 개방스터브 설계 . . . . .	25
3.1.2 링공진기 설계 . . . . .	27
3.1.3 결합전송선로 설계 . . . . .	29
3.1.4 대역통과필터 설계 . . . . .	30
3.2 대역통과필터 제작 . . . . .	33
4장 결론 . . . . .	35
참고문헌 . . . . .	36

## 표 목차

<표 2-1>	개방스터브의 파라미터 . . . . .	8
<표 2-2>	개방스터브 간격 파라미터 . . . . .	11
<표 2-3>	3개의 개방스터브 파라미터 . . . . .	12
<표 2-4>	상하부의 두께가 다른 스텐드 모델 . . . . .	15
<표 2-5>	Split-ring 공진기 파라미터 . . . . .	19
<표 3-1>	저역저지대역 설계 파라미터 . . . . .	26
<표 3-2>	고역저지대역 설계 파라미터 . . . . .	28
<표 3-3>	3개의 Openstub와 3개의 Slit-ring의 배열 파라미터	31

# 그림 목차

<그림 1-1>	설계 구상도 . . . . .	3
<그림 2-1>	필터 역할에 따른 C와 L의 조합 . . . . .	4
<그림 2-2>	필터 역할에 따른 주파수 특성 . . . . .	5
<그림 2-3>	삽입손실 및 스킨트 특성 . . . . .	6
<그림 2-4>	개방스터브 형태 및 전송선로모델 . . . . .	7
<그림 2-5>	개방스터브 모델 . . . . .	8
<그림 2-6>	개방스터브 폭/길이변화에 따른 주파수 특성 . . . . .	9
<그림 2-7>	2개의 개방스터브 . . . . .	10
<그림 2-8>	개방스터브 간격에 따른 주파수 특성 . . . . .	11
<그림 2-9>	3개의 개방스터브 . . . . .	12
<그림 2-10>	개방스터브 간격에 따른 주파수 특성 . . . . .	13
<그림 2-11>	개방스터브의 체배주파수 . . . . .	14
<그림 2-12>	상하부 두께가 다른 스텐드 모델 . . . . .	15
<그림 2-13>	상하부 두께가 다른 개방스터브의 주파수 특성 . . . . .	17
<그림 2-14>	Split-ring 공진기 형태 및 등가회로 . . . . .	18
<그림 2-15>	Split-ring 공진기 . . . . .	19
<그림 2-16>	Split-ring 공진기의 크기에 따른 주파수 특성 . . . . .	20

<그림 2-17>	3개의 Split-ring공진기 . . . . .	21
<그림 2-18>	Split-ring 공진기의 개수에 따른 주파수 특성 .	21
<그림 2-19>	Split-ring 공진기 간격에 따른 주파수 특성 . .	22
<그림 2-20>	삼입된 고역통과 형태 . . . . .	23
<그림 2-21>	길이에 따른 주파수 특성 . . . . .	23
<그림 3-1>	대역통과필터 설계 과정 . . . . .	24
<그림 3-2>	저역저지 형태 . . . . .	25
<그림 3-3>	저역저지 주파수 특성 . . . . .	26
<그림 3-4>	고역저지 형태 . . . . .	27
<그림 3-5>	고역저지 주파수 특성 . . . . .	28
<그림 3-6>	고역통과 형태 . . . . .	29
<그림 3-7>	고역통과 주파수 특성 . . . . .	29
<그림 3-8>	등가회로 . . . . .	30
<그림 3-9>	3개의 Openstub와 3개의 Slit-ring 공진기 . . .	30
<그림 3-10>	대역통과필터 모델링 . . . . .	31
<그림 3-11>	모의실험 특성 . . . . .	32
<그림 3-12>	제작된 필터 형태 . . . . .	33
<그림 3-13>	제작된 필터의 S-파라미터 . . . . .	34

# Abstract

In this paper, a new microstrip bandpass filter is proposed and implemented using two bandstop filters and a highpass filter. The two bandstop filters are realized by open stub and split-ring resonator, respectively, and a highpass filter is realized by a coupled transmission line.

The lower cutoff frequency of the bandpass filter was decided by the bandstop frequency of the open stub bandstop filter, and also the upper cutoff frequency of the bandpass filter was decided by the bandstop frequency of the split-ring resonator. And the coupled transmission was used as a highpass filter to cutoff DC and the frequency near DC.

The proposed bandpass filter was fabricated on the dielectric substrate with a dielectric constant of 3.5 and the thickness of 0.762mm. The measured results of the filter show that the passband is from 3.99 GHz to 8 GHz and the insertion loss is 1dB.

The bandwidth of proposed bandpass filter can be easily controlled by using the two bandstop frequencies, respectively. It may be useful to design bandpass filter for various communication system.



# 제 1 장 서 론

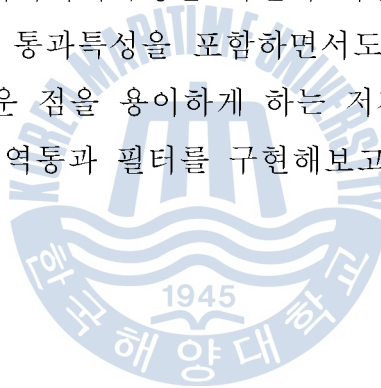
## 1.1. 연구배경

마이크로웨이브 필터는 RF 시스템 전반에 걸쳐서 가장 널리 사용되는 회로이며, 필요한 주파수만 통과시키고 나머지 주파수는 감쇄시켜 통과시키지 않는 역할을 한다. 원하는 주파수대역만 통과시키는 필터는 대역통과필터로 구분하는데, 이는 다양한 형태로 구현되어 발표되었다. 참고문헌 중 개방스터브와 링 공진기를 이용한 대역통과필터를 먼저 살펴보고자 한다. Kai chang이 발표한 논문은 낮은 삽입손실을 가지는 소형의 광대역 마이크로스트립 대역통과필터를 제안하였다[1]. 링 공진기의  $\lambda_g/4$ 지점과  $\lambda_g/2$ 지점에서  $\lambda_g/4$ 길이의 개방스터브를 각각 부착하는 형태이다. 링 공진기는 입력된 신호가 링을 통과할 때 한쪽은  $3\lambda_g/4$ 길이만큼 흐르고 반대쪽으로는  $\lambda_g/4$ 길이만큼 흐름으로써 출력시 만나는 신호가 90 위상차로 인해 특정주파수가 저지되는 특성을 가진다. 이에 더해진 개방 스텐브 특성은 전송선로에  $\lambda_g/4$ 길이의 스텐브를 추가함으로써  $\lambda_g$ 에 해당하는 특정 주파수를 저지하는 구조를 가지는데, 두 가지 저지 특성이 더해져서 결과적으로 대역통과특성을 얻게 되는 것을 보여주고 있다. 제작된 대역통과필터의 -3dB의 통과대역은 4.58GHz ~ 7.8GHz를 포함하고 있다.

한편 참고문헌[2]에서는 Sprit-ring공진기와 Spirol공진기를 이용하여 두가지 마이크로스트립 대역저지필터를 제안하였다 [2]. 첫 번째는 마이크로스트립 전송 선로의 중앙선로에 세 개의 sprit-ring 공진기를 일렬로 배열시켰다. 중앙선로에 구현된 세 개의

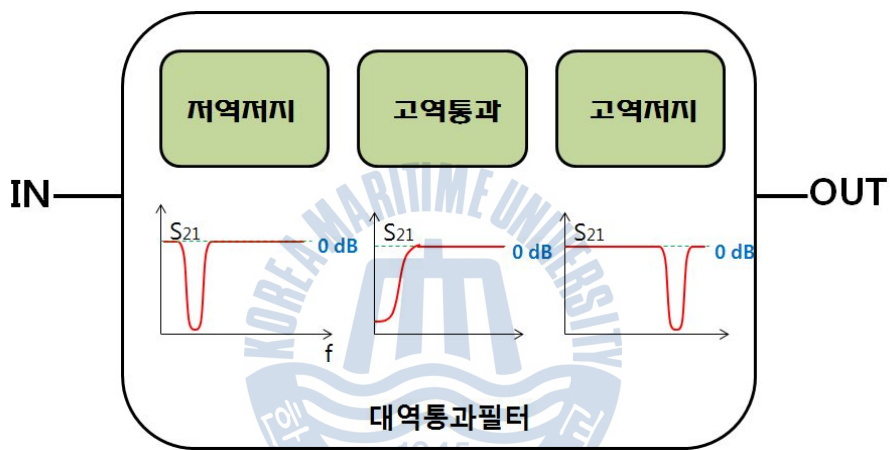
sprit-ring 공진기와 수직으로 시간에 따라 변하는 전계가 걸리면 특정 공진 주파수에서 유효 투자율이 음이 되는 현상이 벌어지며, 이에 따라 전파가 더 이상 진행하지 못하게 된다. 이러한 현상은 특정 공진주파수에서 대역저지 현상이 나타나는 것을 의미한다. 두 번째는 Spiral 공진기를 세 개 나열하였다. 나열된 공진기 축에 수직한 방향으로 전계가 걸렸을 때 특정 공진주파수에서 self-resonance 현상이 일어나 대역저지 특성이 나타나는 것을 볼 수 있다.

그 외에도 다양한 형태의 대역통과 및 대역저지 필터가 소개되었다. 본 논문에서는 대역저지특성을 적절히 이용하여, 먼저 소개하였던 대역통과 필터의 통과특성을 포함하면서도 단일구조로 인한 통과대역 조절이 어려운 점을 용이하게 하는 저지대역별로 각각의 구조를 가진 형태의 대역통과 필터를 구현해보고자 한다.



## 1.2. 연구개요

본 논문에서는 대역통과 필터를 구현하기 위해 저주파대와 고주파대의 두가지 대역저지 특성을 이용할 것이다. 그리고 DC쪽 부분의 신호를 차단하기 위하여 고역통과 특성을 추가하여 필터특성을 개선시킬 것이다. 대역통과필터의 설계 예상 구상도는 <그림 1-1>과 같다.



<그림 1-1> 설계 구상도

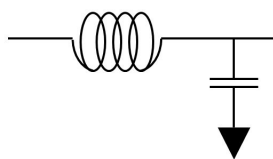
<그림 1-1>은 대역통과필터 설계 구상도를 나타낸다. 저주파대역 저지특성과 고주파대역 저지특성을 같이 적용하고, 저주파 저지대역보다 더 DC가까이 있는 신호들을 차단하고자 고역통과특성을 삽입하여 이용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 필터의 구조별 특성에 대해 분석해 보고자 한다. 필터의 기본구조와 그에 따른 주파수 특성에 대해 확인한다. 3장에서는 그러한 특성을 사용한 대역통과 필터의 설계 및 제작을 다루어 보고자 한다. 4장에서는 대역통과필터의 결과를 정리하고자 한다.

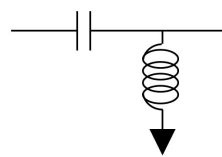
## 제 2장 필터 구조별 특성 분석

마이크로웨이브 필터는 RF 시스템 전반에 걸쳐서 가장 널리 사용되는 회로이며, 필요한 주파수만 통과시키고 나머지 주파수는 감쇄시켜 통과시키지 않는 역할을 한다. 그리하여 필터는 주파수를 선택하도록 하며, 선택특성에 따라 저역통과필터와 고역통과필터, 대역통과필터, 대역저지 필터로 나뉜다. 그 중 대역통과필터는 특정 대역의 주파수만 잘 통과시키는 형태의 필터이고, 대역저지 필터는 모든 주파수는 통과시키면서 특정 주파수만 통과시키지 않는 필터이다.

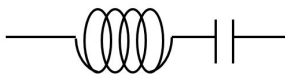
현대에는 RF를 여러 주파수를 잘게 나누어 사용하며, 원하는 주파수 대역만 정확하게 걸러내는 것은 중요한 이슈이다. 송신단에서는 불필요한 주파수가 발신되지 않도록 내보내야하고, 수신단에서는 수많은 불필요한 주파수 중에서 필요주파수를 정확히 걸러내야 한다. 이렇듯 각각의 시스템마다 사용되는 주파수대역이 다른데, 이를 국한시키는 것이 대역통과 필터이다.



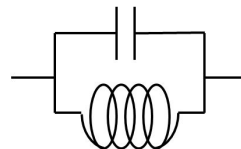
(a) Low Pass



(b) High Pass

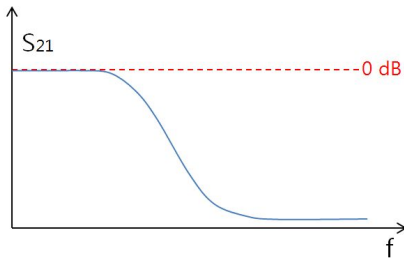


(c) Band Pass

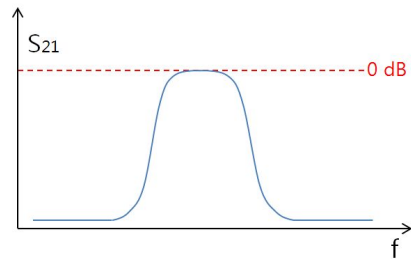


(d) Band Stop

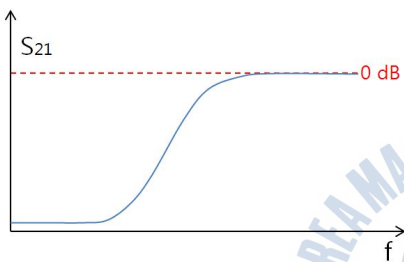
<그림 2-1> 필터 역할에 따른 L과 C의 조합



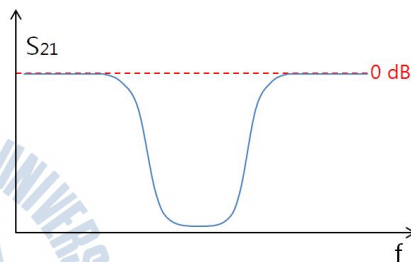
(a) Low Pass



(b) Band Pass



(c) High Pass

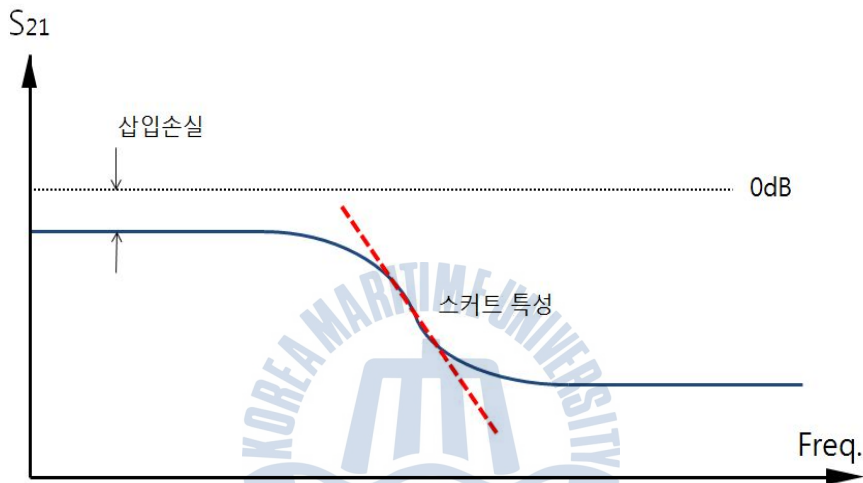


(c) Band Stop

<그림 2-2> 필터 역할에 따른 주파수 특성

<그림 2-1>은 필터의 역할에 따른 L과 C의 조합을 간단하게 나타낸 것이다. 필터의 주요 원리는 L과 C의 조합에 따른 공진에 의해 이루어진다. L은 주파수가 낮아질수록 통과가 잘되는 특성을 가지고 있으며, C는 주파수가 높아질수록 잘 통과되는 특성을 가지고 있다. 이러한 L과 C의 조합의 특성을 주파수특성으로 간단하게 표기한 것이 <그림 2-2>이다. 저역통과는 저주파대역은 통과시키면서 고주파대역을 저지하고, 고역통과는 반대로 저주파대역은 저지하면서 고주파 대역은 통과시킨다. 대역통과는 일부대역의 신호만 선택적으로 통과시키고 나머지는 저지시키며, 대역저지는 일부대역의 신호만 선택적으로 저지하는 특성이다.

필터의 특성에서 중요한 점은 삽입손실과 스킨특성이다. 삽입손실을 신호가 입력되면서 손해를 보는 정도를 나타내고 적을수록 좋으며, 스킨 특성은 통과대역과 저지대역을 구분하는 정도를 나타낸다.



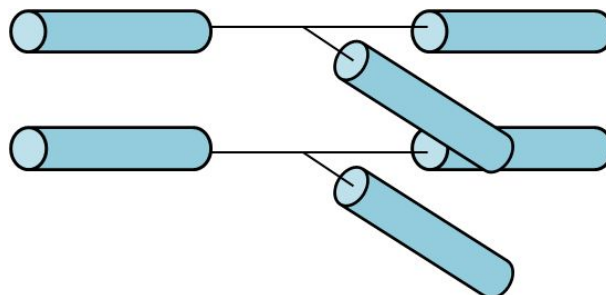
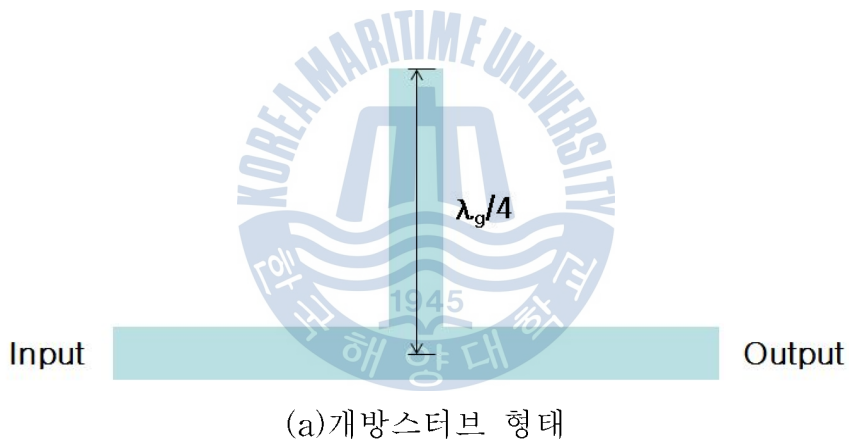
<그림 2-3> 삽입손실 및 스킨 특성

통과대역에서  $S_{21}$ 이 0dB보다 작은 것은 입력된 전력이 전부 출력으로 나가지 못하고 있는 것을 나타내며, 0dB에서 떨어진 만큼 손실이 일어나는 것을 보여준다. 그리고 스킨 특성은 통과대역과 저지대역을 구분하는 부분이 얼마나 명확한지를 나타내며, 날카롭게 서 있을수록 대역구분이 잘되는 좋은 특성이다. 마치 나뿔거리는 치마와 같다고 하여 스킨 특성이라고 한다.

본 논문에서는 이러한 필터의 특성을 고려하여, 저주파대역과 고주파대역의 두가지 대역저지 특성을 사용할 것이며 DC쪽 신호를 차단하기 위하여 고역통과 특성을 추가하여 필터특성을 개선시켜 설계 및 제작할 것이다.

## 2.1 $\lambda_g/4$ 개방스터브를 사용한 대역저지 필터

대역저지 특성을 구현하기 위해 <그림 2-4>와 같은 개방스터브 형태를 사용하였다. 본 논문에서는 이러한 개방스터브를 사용하여 저주파(4GHz 이하)대역의 저지특성을 구현하였다. 개방스터브는 원하는 주파수의  $\lambda_g/4$  길이의 stub를 추가함으로써  $90^\circ$  위상차로 인해 해당 주파수가 저지되는 특성을 가지고 있다. 즉, 전송선에 추가된  $\lambda_g/4$  스텐브로 인해 스텐브가 만나는 전송선로 지점이 단락으로 보이게 되는 현상이다.

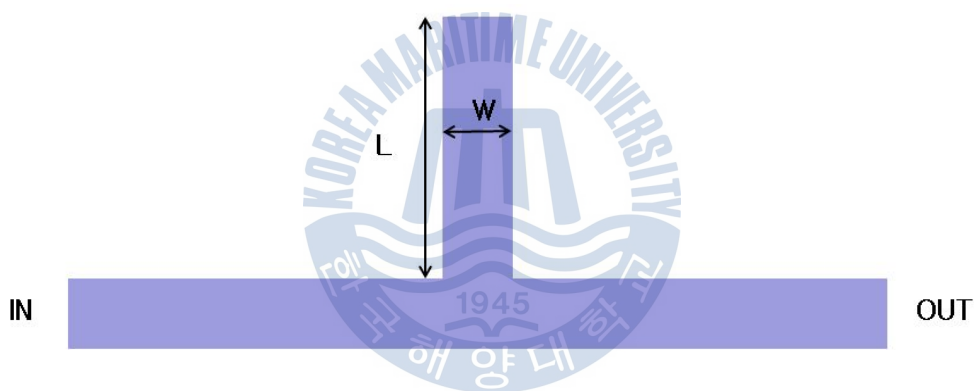


(b) 전송선로 모델

<그림 2-4> 개방스터브의 형태 및 전송선로 모델

<그림 2-4>는 개방스터브의 형태와 전송선로 모델을 나타내고 있다. 추가된 스테브의  $\lambda_g/4$ 길이는 선폭의 중간지점에서 시작된다.

<그림 2-5>와 같이 스테브 추가로 인하여 어떤 현상이 나타나는지 확인하기 위하여, 개방 스테브의 폭과 길이를 변화시켜 특성을 알아보았다. 실제로 추가된 개방스터브의  $\lambda_g/4$ 길이를 측정할 때 선폭의 중간지점에서 시작하여야 하나, 아래의 스테브 길이  $L$ 은  $\lambda_g/4$  길이에서 선폭의 절반길이만큼 고려하여 계산되었다. 이를 <표 2-1>에서 모의실험한 개방스터브의 치수를 나타내었다.

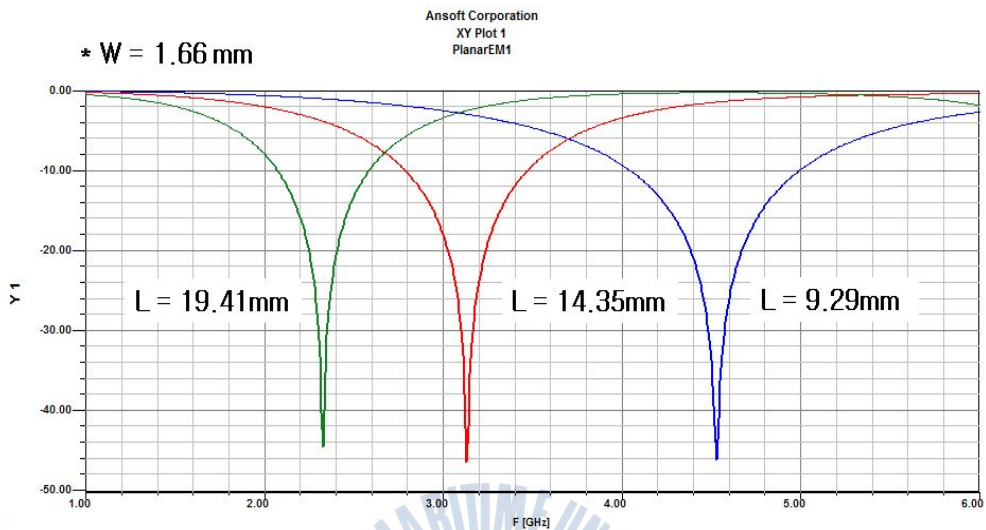


<그림 2-5> 개방스터브 모델

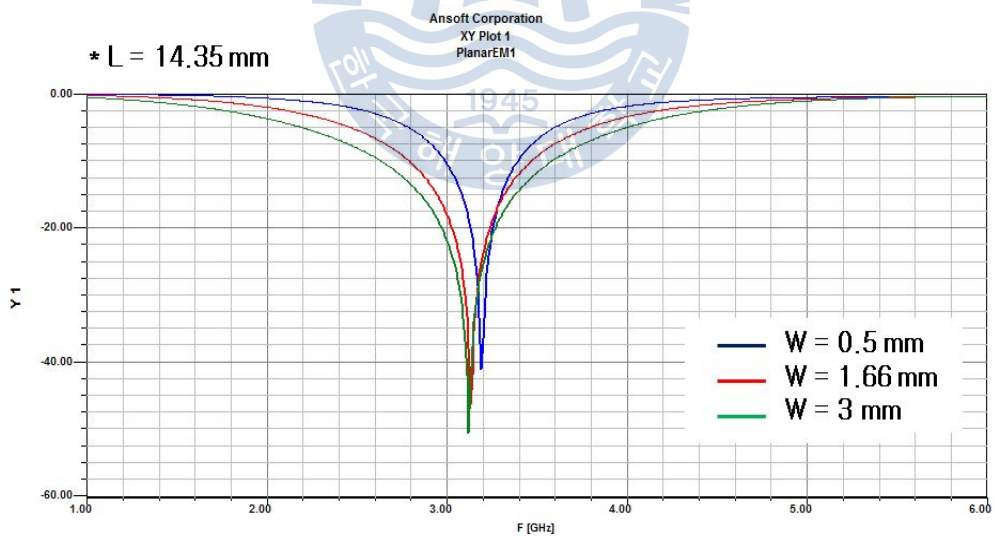
<표 2-1> 개방스터브의 파라미터

길이 [L]	폭 [W]
19.41mm	1.66mm
14.35mm	
9.29mm	
14.35mm	0.5mm
	1.66mm
	3mm





(a) 개방스터브의 길이 변화에 따른 주파수 특성



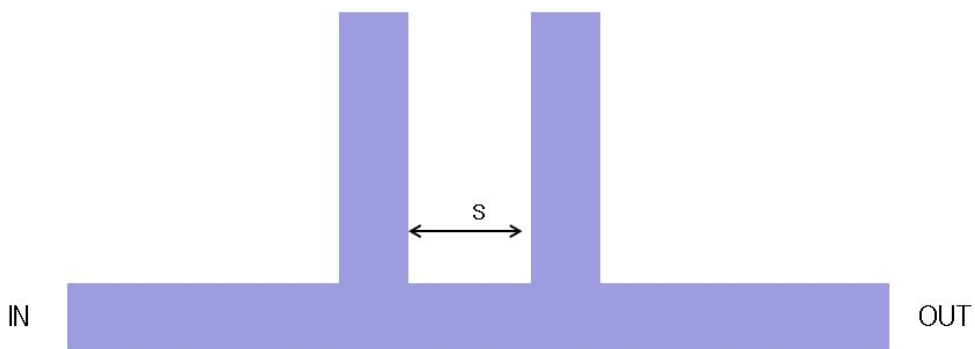
(b) 개방스터브의 폭 변화에 따른 주파수 특성

<그림 2-6> 개방스터브의 길이와 폭 변화에 따른 주파수 특성

<그림 2-6>에서는 개방스터브의 길이와 폭의 변화에 따라 어떤 현상이 있는지 모의실험을 시행해 보았다. 먼저 길이 변화를 살펴보면, 개방 스테브의 길이가 길어질수록 신호는 낮은 주파수로 통과하고, 길이가 짧아질수록 높은 주파수로 통과하는 것을 확인할 수 있다. 이는 저주파의 파장 길이가 고주파수에 비해 길기 때문에  $\lambda_g/4$  길이도 역시 비례한다. 그리고 폭의 변화에 따른 저지대역 주파수의 변화는 비교적 크지 않았으며, 길이가 동일하므로 같은 주파수에서 신호가 흐르면서 스커트 특성이 약간 달라지는 것으로 확인할 수 있다.

개방 스테브를 추가하여 배열하였을 때는 어떤 특성이 나타나는지 확인해 보기 위해 <그림 2-7>과 같이 두 개의 개방 스테브를 배치하여 보았다. 각 스테브 사이의 간격은 S로 두고 폭이 1.66mm, 길이가 14.35mm 동일한 스테브를 사용하였다.

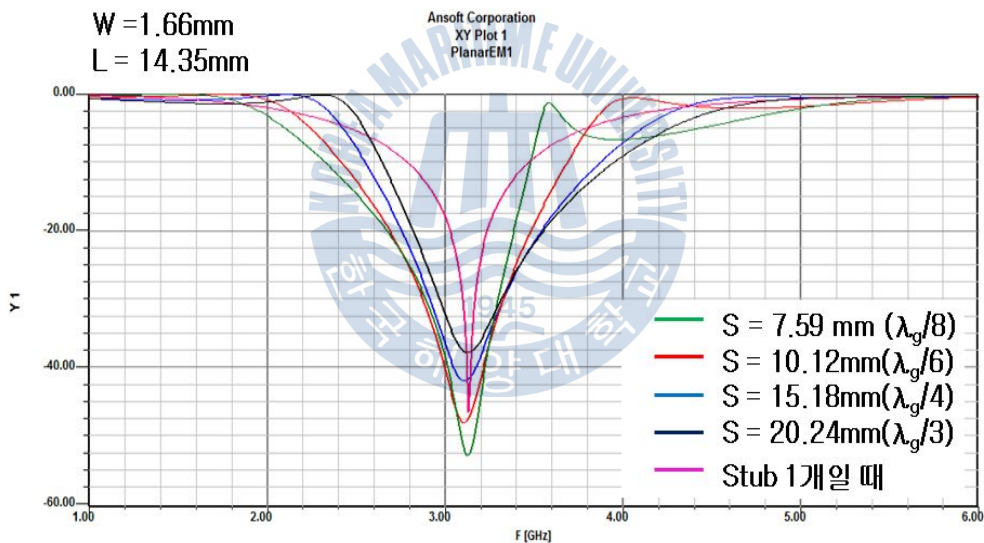
<표 2-2>는 두 개의 스테브의 간격이  $\lambda_g/3$ ,  $\lambda_g/4$ ,  $\lambda_g/6$ ,  $\lambda_g/8$  길이만큼 떨어져 있는 파라미터이다.



<그림 2-7> 2개의 개방스터브

<표 2-2> 개방스터브 간격 파라미터

간격 [S]	길이 [L]	폭 [W]
7.59mm	14.35mm	1.66mm
10.12mm		
15.18mm		
20.24mm		



<그림 2-8> 개방스터브 간격에 따른 주파수 특성

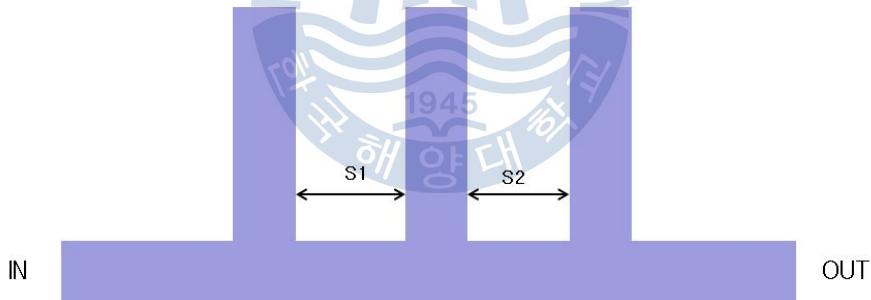
<그림 2-8>은 개방스터브 간격에 따른 주파수 특성을 모의실험으로 확인한 결과이다. 대체적으로 스텐브가 한 개일 때보다는 두 개의 스텐브가 저 지특성이 넓게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

두 개의 개방스터브 사이의 간격이 좁을수록 공진주파수 보다 낮

은 주파수에서는 완만하고 공진주파수보다 높은 주파수에서는 급격한 스킨트 특성을 나타내고 있다. 반대로 개방 스테브 사이의 간격이 넓을수록 공진주파수보다 낮은 주파수에서는 급격하고 공진주파수보다 높은 주파수에서는 완만한 스킨트 특성을 보이고 있는 것이 확인가능하다. 그리고 스킨트 특성이 급격해 지는 부분은 리플이 나타나기도 했다.

스테브를 하나 더 추가하여 3개일 때 어떤 주파수 특성이 나타나는지 확인하기 위하여 스테브 간격별 주파수 특성을 확인해보았다.

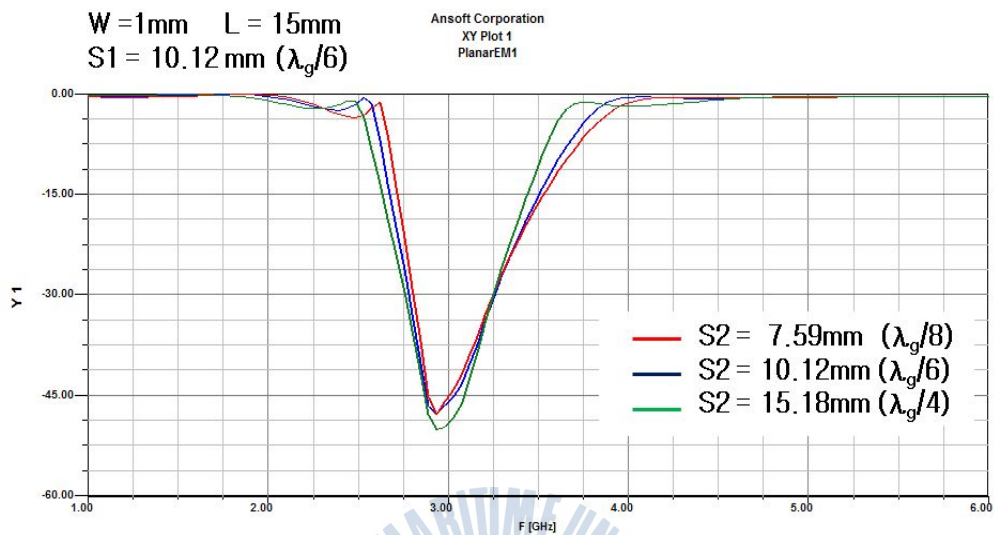
<그림 2-9>에서는 3개의 개방 스테브 형태를 나타내고 있다. 첫 번째 스테브와 두 번째 스테브 사이의 간격을 S1으로 하고, 두 번째 스테브와 세 번째 스테브 사이의 간격을 S2로 두었다. 각각의 스테브는 길이가 15mm, 폭이 1mm로 동일하다. 이를 <표2-3>에서 파라미터로 표기하였다.



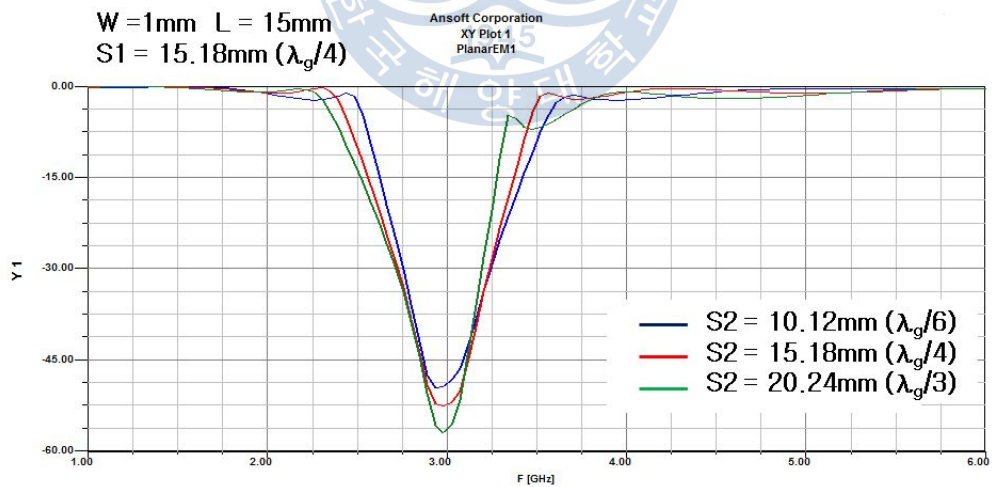
<그림 2-9> 3개의 개방스테브

<표 2-3> 3개의 개방스테브 파라미터

간격 [S]	길이 [L]	폭 [W]
7.59mm	15mm	1mm
10.12mm		
15.18mm		



(a) S1이 10.12mm로 고정되었을 때 S2에 따른 주파수 특성

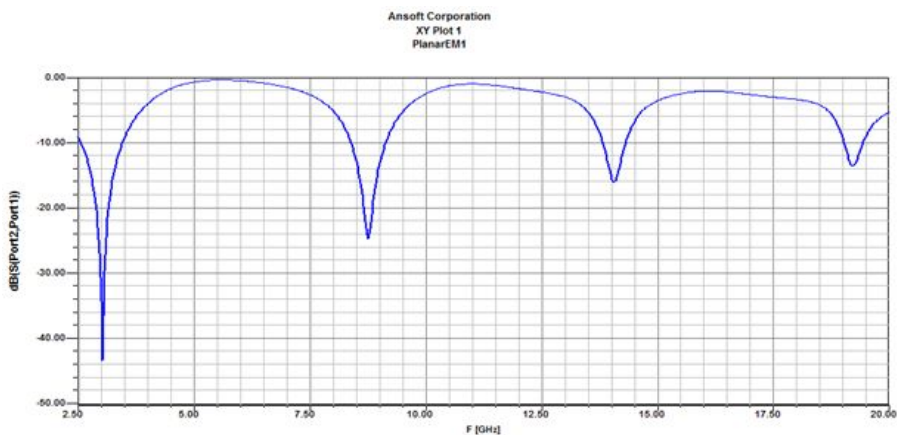


(b) S1이 15.18mm로 고정되었을 때 S2에 따른 주파수 특성

<그림 2-10> 개방스터브 간격에 따른 주파수 특성

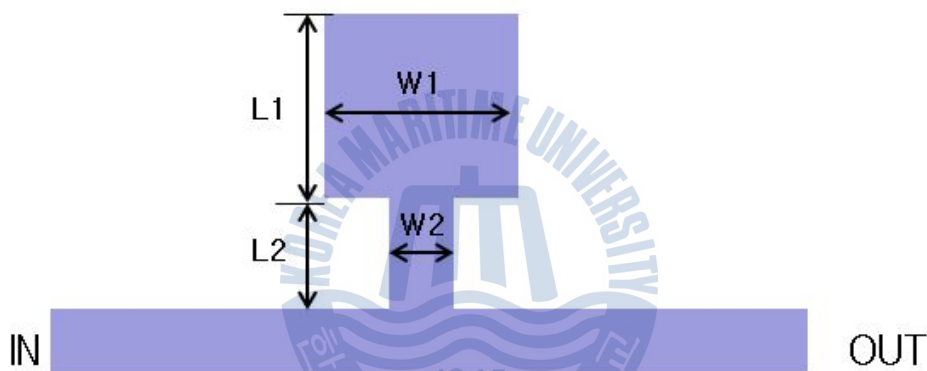
<그림 2-10>에서와 같이 개방스터브의 한쪽 간격은 고정하고 나머지 한쪽을 변형시켜 보았다. 먼저 S1이  $\lambda_g/6$ 일 때 S2가  $\lambda_g/4$ ,  $\lambda_g/6$ ,  $\lambda_g/8$ 로 변화시켰다. 길이가  $\lambda_g/6$ 로 동일했을 때 기준에서 길이가  $\lambda_g/8$ 로 짧아졌을 때 공진주파수보다 낮은 주파수가 더 급격해지고, 길이가  $\lambda_g/4$ 로 길어졌을 때는 공진주파수보다 높은 주파수가 더 급격해졌음을 확인하였다. 그리고 경사가 급격할수록 역시 리플이 함께 확인되었다. 길이가  $\lambda_g/4$ 로 동일했을 때 기준에서는 길이가  $\lambda_g/6$ 으로 짧아졌을 때 비교적 대칭인 형태를 띄고 있었고,  $\lambda_g/3$ 로 길어졌을 때는 공진주파수보다 높은 주파수가 급격한 스킨트 특성을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 대역통과 필터가 목표이기 때문에 저지대역의 스킨트 특성이 가파르게 나타날수록 필터의 특성이 좋아지므로 이 증고주파 측 기울기가 리플이 적으면서도 가파르도록 조율하여야 한다. 저역저지특성을 위해 사용된 개방 스텐브의 주파수특성을 광범위하게 확인하여 보면 <그림 2-11>과 같이 주기적으로 대역저지특성이 나타나는 것을 확인할 수 있다.



<그림 2-11> 개방스터브의 체배주파수

<그림 2-11>에서는 공진주파수의 체배주파수가 일정한 간격으로 나타난다. 대역통과필터 설계시 넓은 통과대역을 위해 고주파대역의 저지특성을 높게 설계한다 하여도, 체배주파수의 영향에 따라 통과대역을 넓히는 것이 어려워 질 수 있다. 그러므로 가급적 기준 주파수와 2차 체배주파수사이의 간격이 넓을수록 통과대역의 범위를 확보할 수 있다. 체배주파수의 간격을 넓혀보기 위해서 스테르브의 두께를 <그림 2-12>과 같이 상하부 달리하여 확인해보았다.

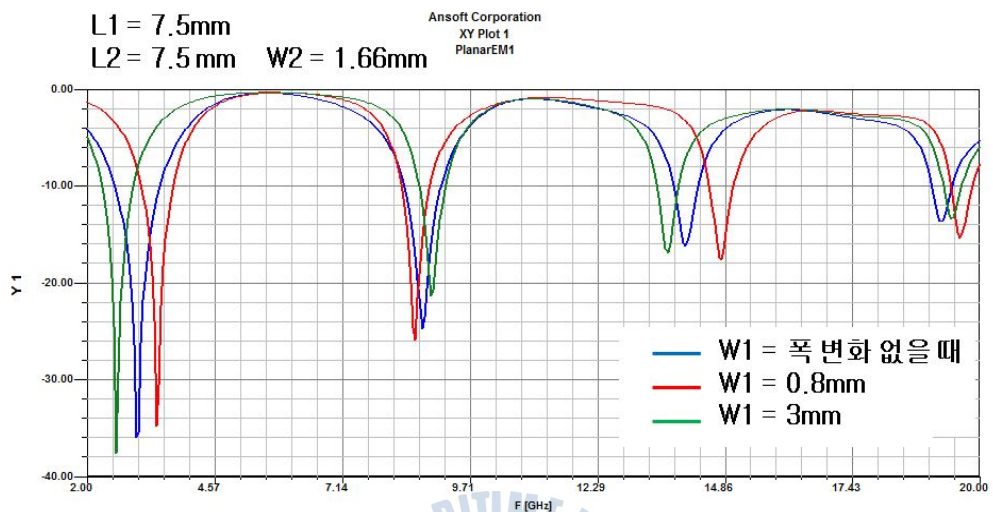


<그림 2-12> 상하부의 두께가 다른 스테르브 모델

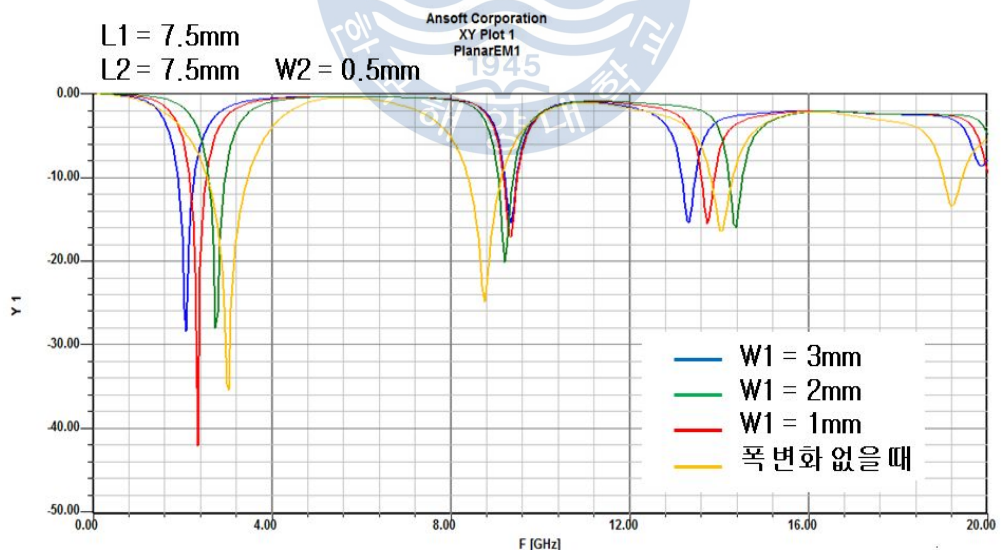
<표 2-4> 상하부 두께가 다른 개방스테르브 파라미터

길이 [L1]	길이 [L2]	폭 [W1]	폭 [W2]
7.5mm	7.5mm	3mm	1.66mm
		1.66mm	
		0.8mm	
		3mm	0.5mm
		2mm	
		1mm	
5mm	10mm	3mm	0.5mm
7.5mm	7.5mm		
10mm	5mm		



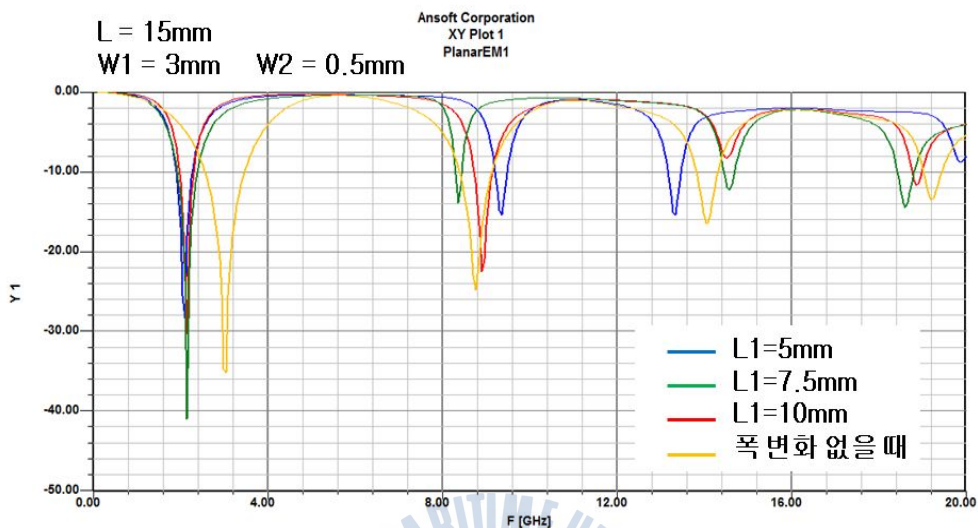


(a) 하부두께가 1.66mm로 고정되었을 때  
상부두께에 따른 주파수 특성



(b) 하부두께가 0.5mm로 고정되었을 때  
상부두께에 따른 주파수 특성





(c) 스테브의 상하부 길이비율에 따른 주파수 특성

<그림 2-13> 상하부 두께가 다른 개방스텝의 주파수 특성

<그림 2-13>은 모의실험을 통해 상하부 두께가 다른 개방 스텝의 주파수 특성을 나타내었다.

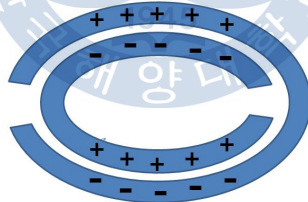
(a)는 폭 변화가 없는 일자형 개방 스텝보다 상부 두께가 하부 두께보다 두꺼울 때 공진주파수와 체배 주파수 사이의 간격이 넓어지고, 상부두께가 하부두께보다 얇을 때 공진주파수와 체배 주파수 사이의 간격이 좁아지는 것을 확인할 수 있다.

(b)는 하부를 더 얇게 한 뒤, 상부의 두께에 따라서 주파수 특성을 확인하였다. 폭 변화가 없는 일자형 개방 스텝보다 하부를 0.5mm로 축소시켰을 때 체배 주파수가 더 높은 주파수로 이동하고, 상부두께가 더 두꺼웠을 때 공진주파수와 체배 주파수 사이의 간격이 넓어지는 것을 확인할 수 있다.

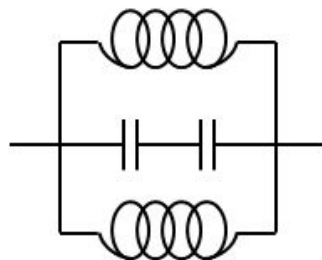
(C)는 개방 스테르브의 전체 길이는 15mm로 고정 한 뒤 상부길이와 하부길이의 비율에 따른 변화를 확인하여보았다. 상부두께는 3mm, 하부두께는 0.5mm로 고정시켰다. 상부길이가 하부길이보다 짧았을 때 같은 공진주파수에서 체배 주파수가 더 넓은 간격으로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

## 2.2 링공진기를 사용한 대역저지 필터

본 논문에서 구현하는 대역통과필터의 고주파(8GHz이상)대역의 대역저지를 위하여 분리형 링(Split-ring)공진기를 이용하고자 한다. Split-ring공진기와 수직으로 시간에 따라 변하는 전계가 걸리면 특정 공진주파수에서 유효투과율이 음이 되는 현상이 발생하고, 이로 인해 전파가 더 이상 진행하지 못하는 대역저지 현상을 나타낸다.



(a) Split-ring 공진기 형태



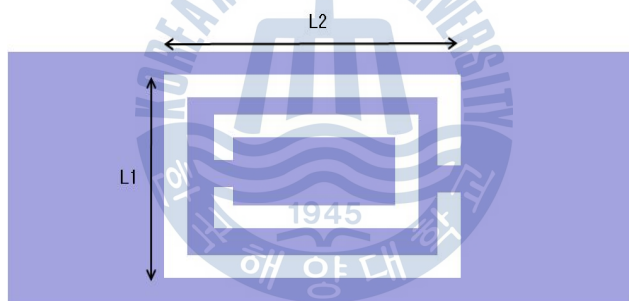
(b) 등가회로

<그림 2-14> Split-ring 공진기 형태 및 등가회로

<그림 2-14>는 Split-ring 공진기의 형태 및 등가회로를 나타내었다. Split-ring 공진기는 외부에서 시간에 따라 변하는 자계가 인가되면 안쪽과 바깥쪽의 링에 전류가 유기된다. 이 전류로 인덕턴스가 주어지며 두 개의 링에는 위와 같이 전압이 분포된다. 그리하여 오픈된 링의 끝부분에 커패시턴스가 형성되며, 이를 등가회로로 표현하면 C가 직렬로 연결된 것으로 표현할 수 있다.

<그림 2-15>는 Split-ring 공진기를 마이크로스트립 선로에 구현하였을 때 형태이다. 모든 슬롯의 간격은 2mm로 동일하다. 이는 에칭 제작환경을 고려한 최소 두께이다.

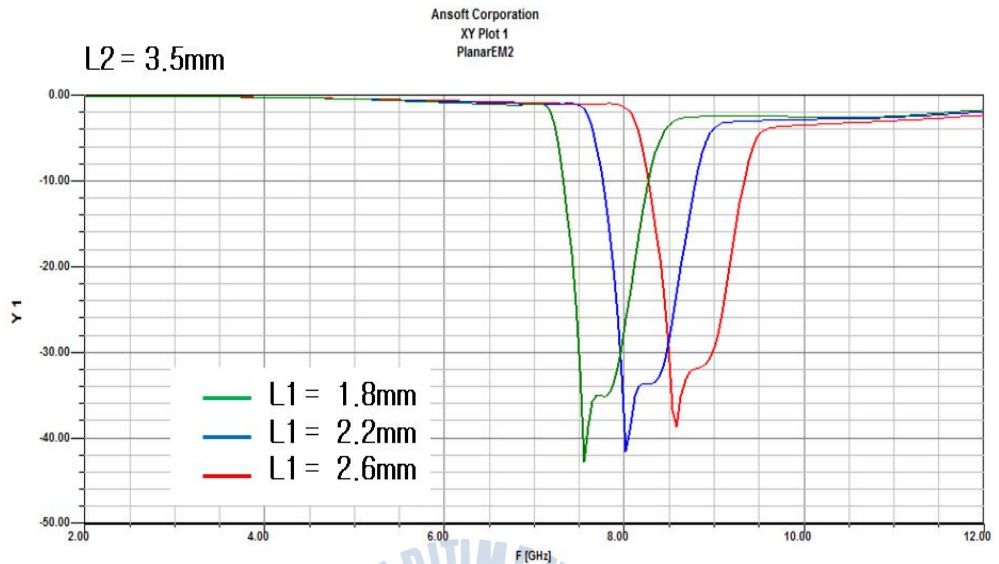
Split-ring 공진기의 크기에 따른 특성을 확인하기 위해 <표 2-5>의 파라미터를 사용하였다.



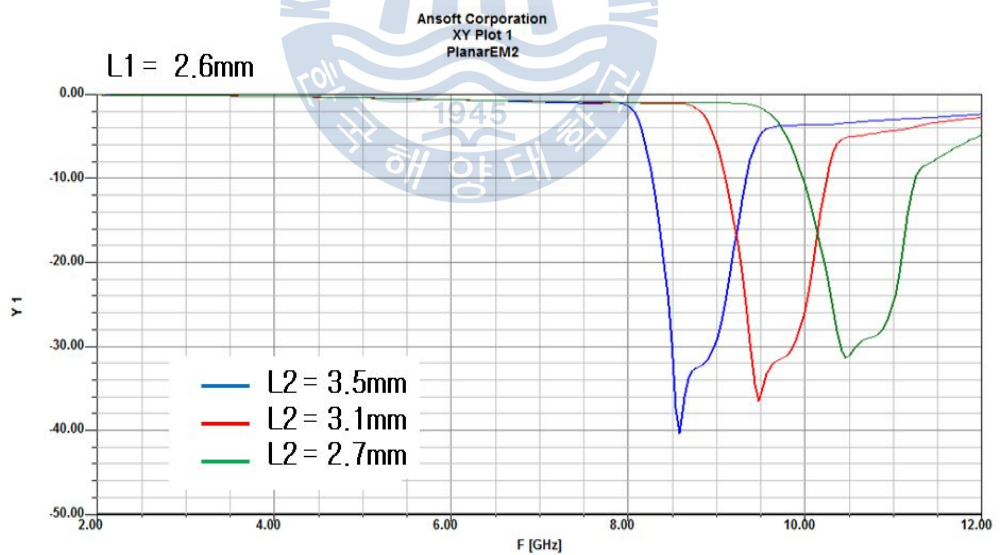
<그림 2-15> Split-ring 공진기

<표 2-5> Split-ring공진기 파라미터

높이 [L1]	길이 [L2]
1.8mm	3.5mm
2.2mm	
2.6mm	3.1mm
	2.7mm



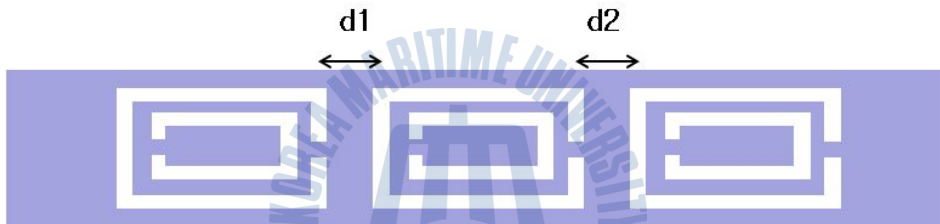
(a) Split-ring 공진기의 세로길이에 따른 주파수특성



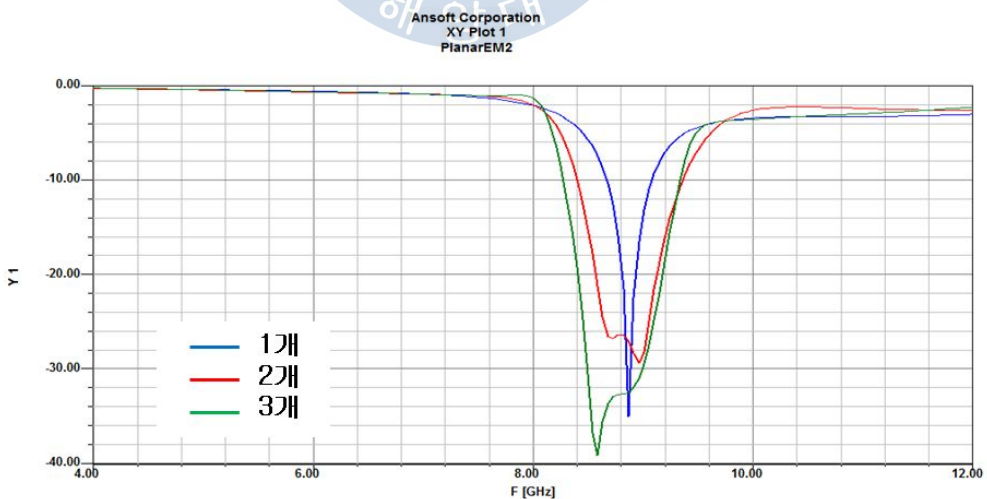
(b) Split-ring 공진기의 가로길이에 따른 주파수특성

<그림 2-16> Split-ring 공진기의 길이에 따른 주파수특성

<그림 2-16>은 Split-ring 공진기의 크기에 따른 주파수 특성을 나타낸다. 가로길이가 고정된 상태에서 L1이 1.8mm일 때보다 2.6mm으로 높이가 높았을 때 더 고주파에서 저지특성을 나타내었고, 세로길이가 고정된 상태에서 L2가 3.5mm일 때 보다 2.7mm로 가로길이가 줄었을 때 더 고주파에서 저지특성을 나타내는 것을 확인하였다. 이러한 Split-ring 공진기를 배열시킨 특성을 확인하기 위하여 아래 <그림 17>과 같이 마이크로스트립 중앙선로에 배치하여보았다.

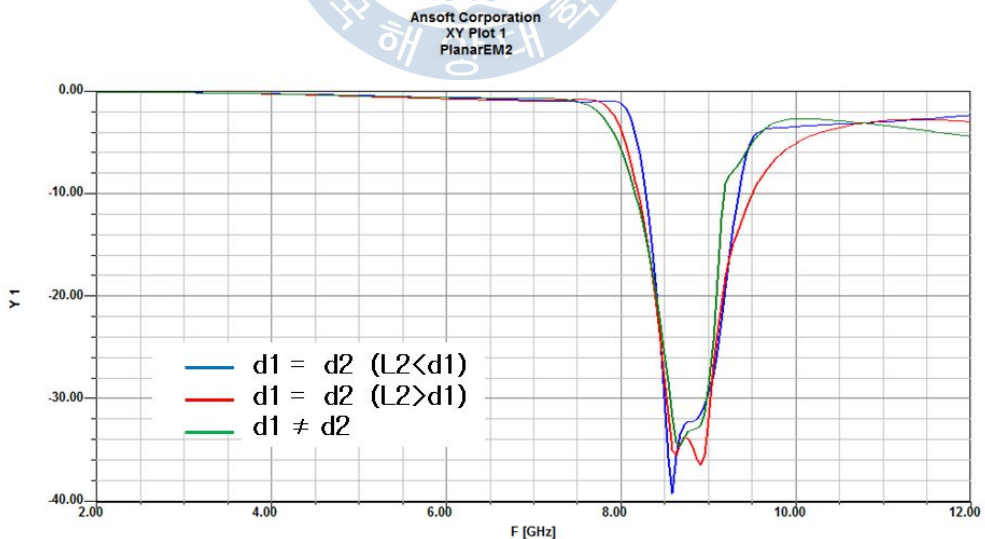


<그림 2-17> 3개의 Split-ring 공진기



<그림 2-18> Split-ring 공진기 개수에 따른 주파수특성

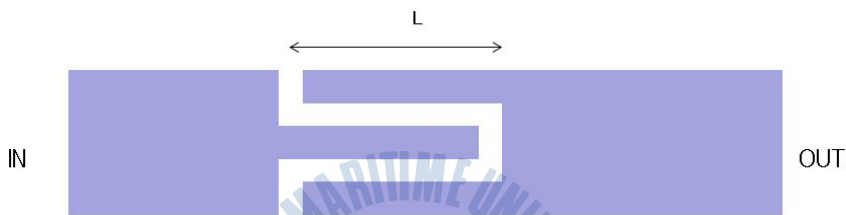
<그림 2-18>은 Split-ring공진기의 개수에 따른 저지특성을 확인하기 위해 같은 크기의 Split-ring공진기를 배열 개수만 달리하여 모의실험을 시행하였다. 모의실험결과에서는 Split-ring 공진기의 개수가 1개일 때 보다 3개일 때가 저지특성이 넓고 분명하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 대역통과 필터를 구현하는데 있어 저지대역이 너무 얇게 구분되면 필터로서의 특성이 좋다고 할 수 없다. Split-ring공진기가 3개 배열되었을 때 저지대역 폭이 구분이 되도록 넓으면서 스커트 특성도 가파르게 잘 나타나고 있다. 또한 <그림 2-19>과 같이 세 개의 Split-ring 공진기가 간격에 따라 어떤 특성을 나타내는지 살펴보았다. 공진기의 가로길이보다 간격이 더 좁을 때와 가로길이보다 간격이 더 넓을 때, 그리고 세 개의 공진기중 두 개의 간격이 달라질 때를 확인하였다. 모의실험 결과로는 아래와 같이 공진주파수는 동일하고 스커트 특성만 약간 달라지는 정도로 차이가 적은편이며, 그 중 공진기세개의 간격이 동일하면서도 간격이 좁은 것이 스커트 특성을 가장 양호하게 나타내었다.



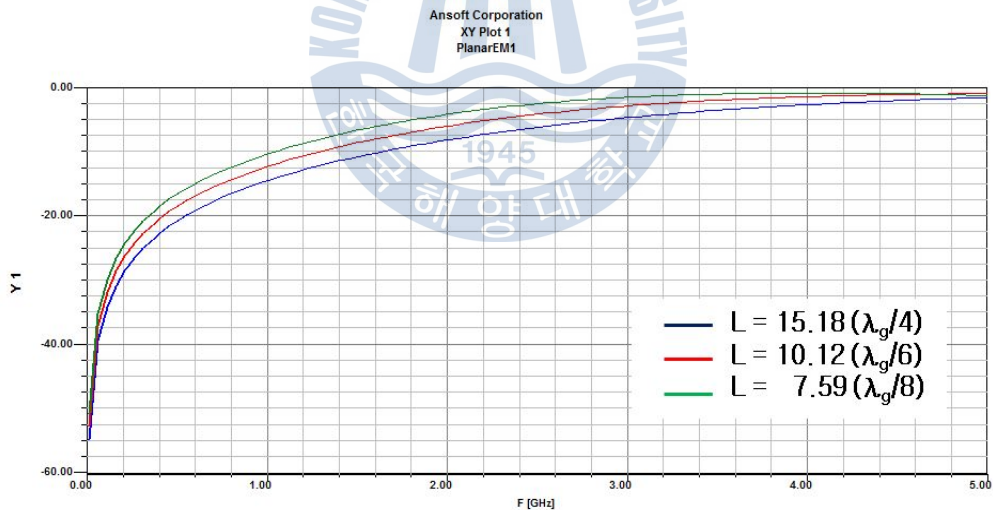
<그림 2-19> Split-ring 공진기 간격에 따른 주파수 특성

## 2.3 결합전송선로를 사용한 고역통과 필터

앞선 두가지 저역저지 특성과 고역저지 특성을 활용한 대역통과 필터를 구현하는데 있어, DC쪽 신호를 차단하여 통과대역을 보호하기 위해 <그림 2-20>과 같은 커플링 효과를 이용한 슬롯을 삽입하였다. 앞서 설명하였던 것처럼 슬롯의 두께는 에칭제작환경의 최소 두께인 2mm로 고정하였다.



<그림 2-20> 삽입된 고역통과 형태

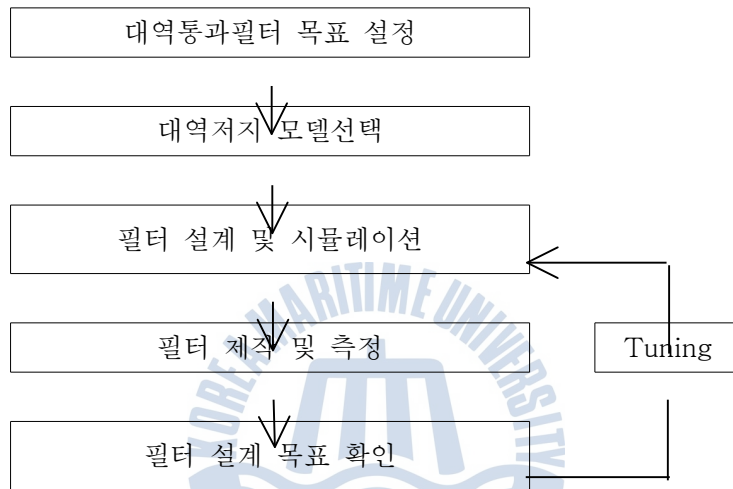


<그림 2-21> 길이에 따른 주파수 특성

<그림 2-21>과 같이 슬롯의 길이에 따른 주파수 특성을 확인하였다. 슬롯을 중심선로에 삽입함으로써 DC쪽 신호는 차단되었으며 길이에 따라 스킨트 특성이 상이하였다.

### 제 3장 대역통과필터 설계 및 제작

본 논문에서는 제안된 3개의 open stub와 3개의 split-ring공진기를 결합한 대역통과필터를 설계하였으며 설계과정은 <그림 3-1>과 같은 순서로 진행되었다.



<그림 3-1> 대역통과필터 설계 과정

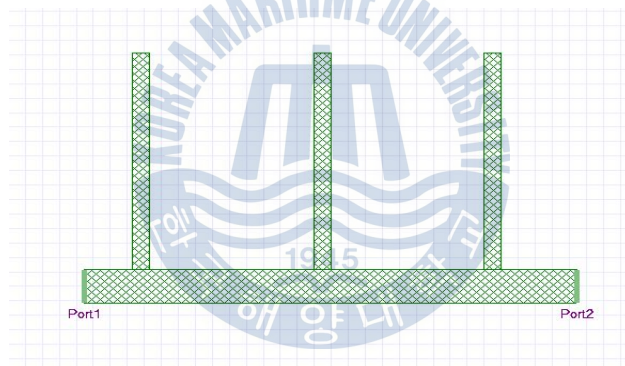
<그림 3-1>과 같이 대역통과필터 설계를 위해 목적에 맞는 대역저지모델을 선정하였다. 이는 1장에서 소개되었던 관련논문들을 참고하였으며, 저역저지부분은 개방스터브를 이용하고 고역저지부분은 분리형 링 공진기를 이용하였다. 그리고 통과대역 보호를 위해 저역저지대역보다 더 저역대역인 DC신호의 차단을 위해 고역통과특성을 추가하여 적용하였다. 이를 Ansoft Designer 프로그램을 이용하여 모의실험을 행하였다. 모의실험시 사용한 기판의 유전율은 3.5이며, 두께는 0.762mm인 기판을 사용하였다. 처음 목표로 하였던 단일형태의 통과대역을 함께 만족하는지 확인한 뒤, 튜닝을 거쳐 에칭을 통해 마이크로스트립 대역통과필터를 제작하였다.



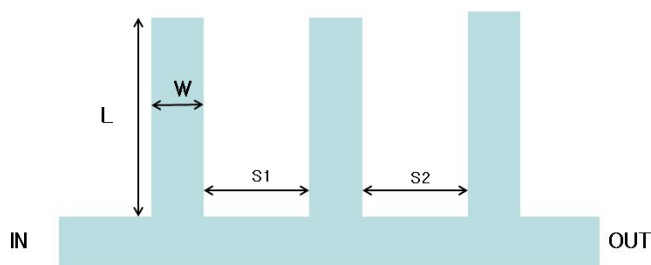
### 3.1 개방스터브와 분리형 링 공진기를 결합한 대역통과필터 설계

#### 3.1.1 $\lambda_g/4$ 개방스터브 설계

본 논문에서 구현하고자 하는 주파수대역은 단일구조 대역통과필터의 통과대역인 4.58GHz ~ 7.3GHz이다. 2.1절에서 언급한 개방스터브 3개를 사용하여 4.5GHz 이하에서 저지대역을 구현하였다.  $\lambda_g/4$  개방스터브를 이용한 필터를 튜닝하여 모의실험한 결과는 <그림 3-3>에 나타난다. 본 논문에서 사용한 Simulation Tool은 Ansoft 사의 Ansoft Designer 프로그램이다.



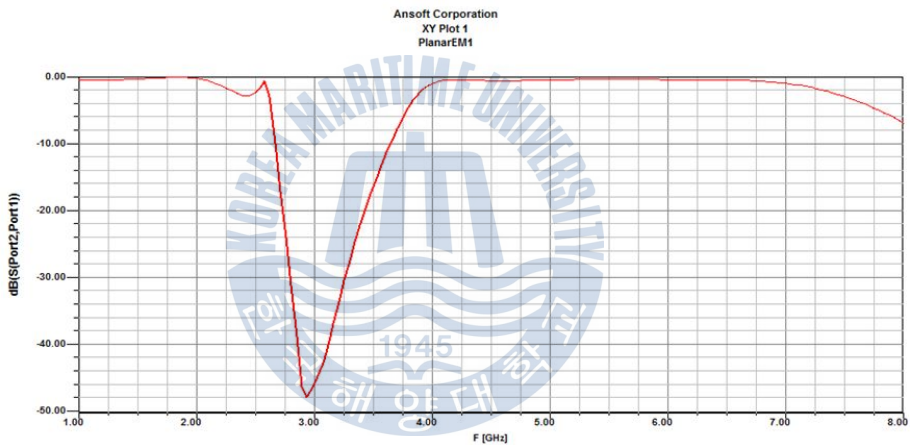
(a) 모의실험 형태



(b) 파라미터 표기를 위한 레이아웃  
<그림 3-2> 저역저지대역 모델링

<표 3-1> 저역저지대역 설계 파라미터

파라미터	수치 [mm]
L	15
W	1
S1	9.7
S2	9



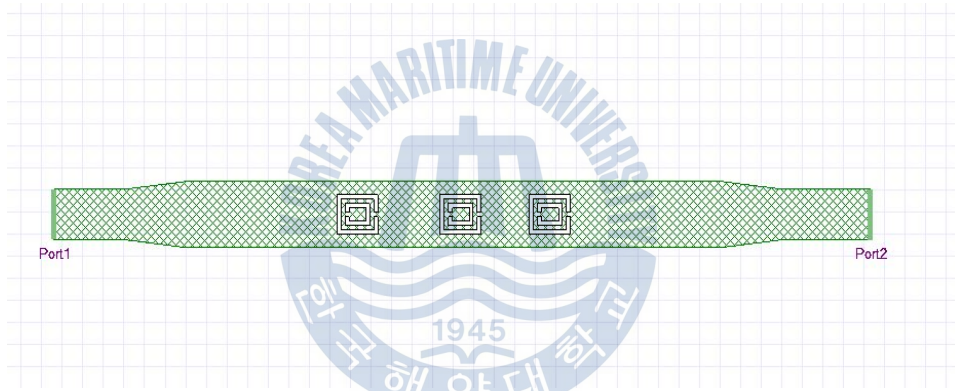
<그림 3-3> 저역저지 주파수 특성

<그림 3-3>를 살펴보면 저지대역보다 더 낮은 주파수에서 리플 현상을 확인할 수 있으나 DC가까운 부분은 고역통과를 위한 슬롯으로 인해 차단시킬 것이기 때문에 크게 의미를 두지 않았다.

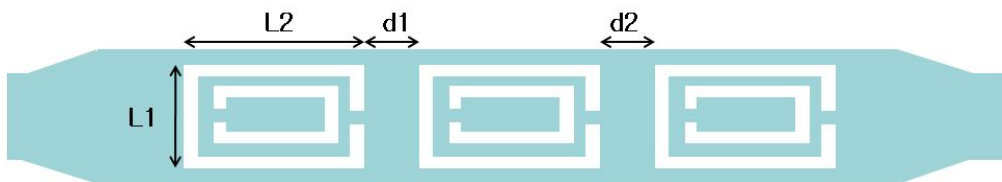
### 3.1.2 링공진기 설계

고역저지 특성을 위해 앞서 2.2절에서 설명하였던 분리형 링 공진기 3개를 나열하였으으며 이는 <그림 3-4>에서 보여주며, 튜닝을 거친 고역저지모텔의 결과는 <그림 3-5>에서 나타난다.

분리형 링 공진기의 세로 두께가 중심선로의 세로두께와 비슷하여, 선폭을 조금 더 두껍게 하였으며 임피던스가 커지는 것을 방지하기 위해 경사를 두었다.



(a) 모의실험 형태

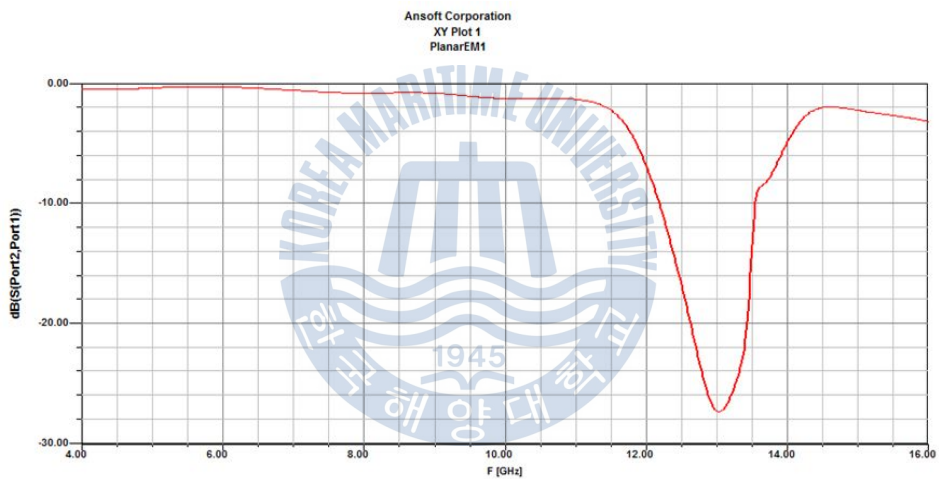


(b) 파라미터 표기를 위한 레이아웃

<그림 3-4> 고역저지 모델링

<표 3-2> 고역저지대역 설계 파라미터

파라미터	수치 [mm]
L1	1.8
L2	2
d1	3
d2	2.4

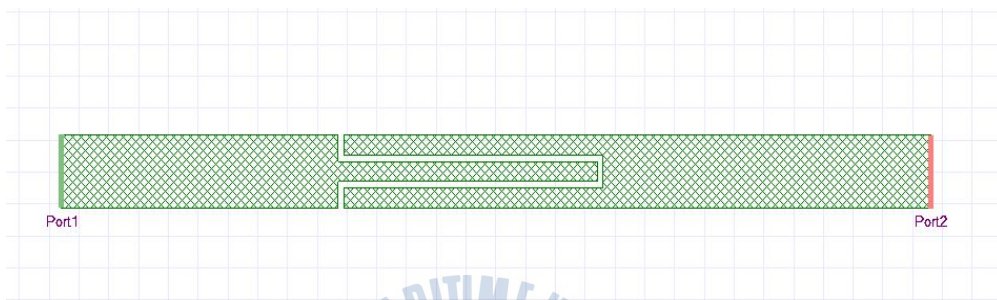


<그림 3-5> 고역저지 주파수 특성

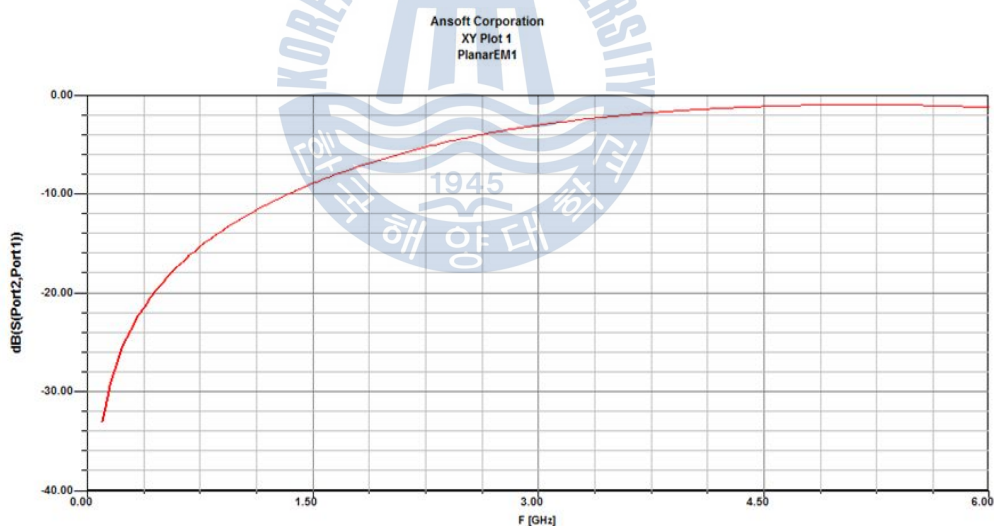
<그림 3-5>는 결정된 분리형 링 공진기를 이용한 고역저지 주파수 특성을 나타내고 있다. 고역저지보다 높은 주파수에서 리플이 생기지만 통과대역과 무관한 범위이며, 자연스럽게 손실이 이루어지기 때문에 역시 의미를 두지 않았다.

### 3.1.3 결합전송선로 설계

2.3절에서 설명한 바와 같이 통과대역을 더욱 분명하게 보호하기 위해 저역저지보다 낮은 DC쪽 주파수를 차단하기 위해 고역통과 특성을 가진 슬롯을 삽입하였다. 이는 <그림 3-6>에서 보여준다.



<그림 3-6> 고역통과 형태

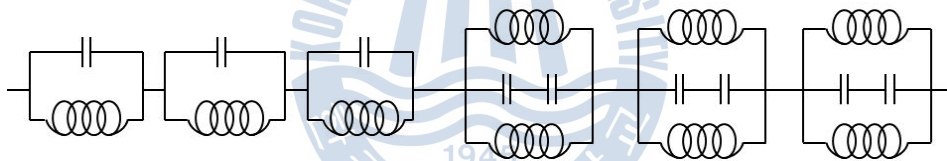


<그림 3-7> 고역통과 주파수 특성

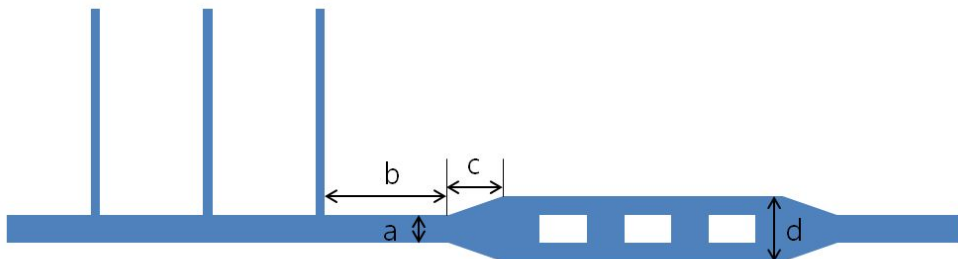
<그림 3-7>에서는 고역통과를 위한 슬롯의 주파수 특성을 나타낸 것이다. DC쪽 신호가 차단되고 있는 것을 확인할 수 있다.

### 3.1.4 대역통과필터 설계

개방 스텔브 특성을 이용하여 필요주파수대역보다 낮은 주파수대역을 저지하고, Split-ring 공진기를 이용하여 높은 주파수대역을 저지하여, 원하는 대역에서의 주파수 특성을 설계하였다. 앞서 살펴 보았던 각자의 특성을 모두 조합하여 대역통과 필터를 설계하고자 한다. 입력단 쪽에 저역저지를 위한 개방 스텔브를 배치하고, 그 사이에 고역통과를 위한 슬롯을 삽입하였다. 그리고 고역저지를 위한 분리형 링 공진기를 배열하였다. <그림 3-8>은 등가회로를 나타낸 것이다.



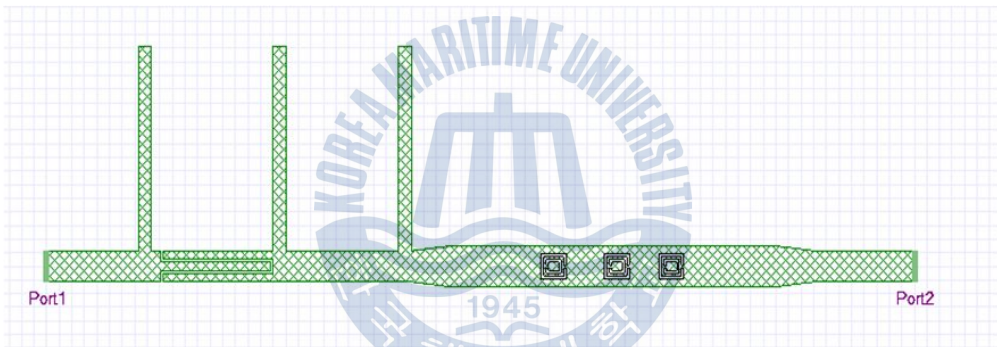
<그림 3-8> 3개의 Openstub와 Split-ring 공진기의 등가회로



<그림 3-9> 3개의 Openstub와 3개의 Split-ring 공진기 배열형태

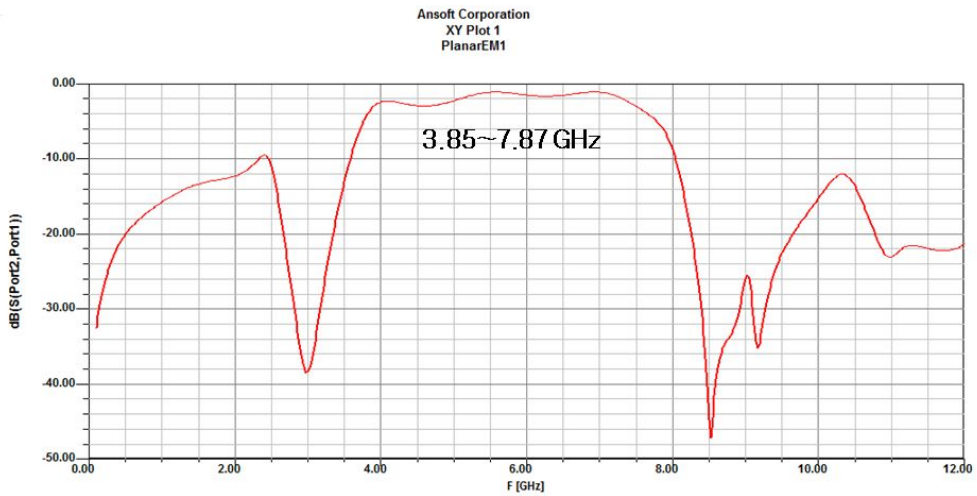
<표 3-3> 3개의 Openstub와 3개의 Slit-ring의 배열 파라미터

파라미터	수치 (mm)
a	2.281
b	0
c	3
d	3



<그림 3-10> 대역통과 필터 모델링

<그림 3-10>에서는 설계된 대역통과 필터의 형태이다. Port1이 입력단이고 Port2가 출력단이다.



<그림 3-11> 모의실험 특성

<그림 3-11>의 모의실험결과는  $S_{21}$ 이 -3dB되는 주파수대역은 3.85GHz ~ 7.87GHz 이었다. 통과대역 양쪽으로 저역저지, 고역저지 특성이 나타나고 있고, DC에 가까운 저주파대역은 커플링을 통해 차단되고, 고주파대역은 손실에 의해 적절하게 신호가 차단되고 있다.



### 3.2 대역통과필터 제작

개방스터브와 분리형 링공진기를 사용하여 제작된 필터의 모양을 <그림 3-12>에 나타내었다. 기판사양은 Taconic사의 유전율 3.5, 기판두께 0.762mm, 도체두께 0.035mm인 것을 사용하였다. 제작 가능한 에칭 최소 선폭이 2mm이었기 때문에 슬롯의 형태가 아주 미세하게 보였다.



<그림 3-12> 제작된 필터 형태

완성된 필터의 전체 크기는 가로 91mm, 세로 34mm 이다. 제작된 필터를 네트워크측정기로 S-파라미터 특성을 확인한 결과를 <그림 3-13>에 나타내었다. <그림 3-13>의 표시점은 1번과 2번은 -3dB지점을 나타내고, 3번과 4번은 단일구조의 필터를 제안한 참고 논문[1]의 대역통과필터 통과대역을 표시하였다.



<그림 3-13> 제작된 필터의 S-파라미터

<그림 3-13>에서와 같이 제작된 대역통과필터의  $S_{21}$ 이 -3dB 되는 주파수대역은 측정결과 3.99GHz ~ 8GHz이다. 제작된 필터의 측정결과와 모의실험결과가 3.85GHz ~ 7.87GHz로 유사하고, Kai chang 이 단일구조로 제안한 4.58GHz ~ 7.3 GHz을 포함한다. 모의실험보다 삽입손실이 1dB정도 낮게 나왔는데 이것은 모의실험에서 중앙선로와 접지면에 금속(PEC)을 사용하였으나 실제로 제작된 필터는 구리가 사용되었기 때문이다.

## 4장 결 론

필터에서 대역을 차단하여 송수신하는 것은 통신 시스템에서 매우 중요한 부분이다. 본 논문에서는 개방 스테르브와 분리형 링 공진기를 이용하여 대역저지특성을 사용한 마이크로스트립 대역통과필터의 설계하고 제작하여 특성을 측정하였다. 추가로 DC쪽 신호를 차단해주기 위해 고역통과특성이 있는 구조를 삽입하였으며, 고역저지대역을 더 넘어서 신호의 경우는 신호의 잡음으로 인해 자연스럽게 차단되는 것을 제작을 통해 확인해보았다.

개방 스테르브는 저주파대역의 대역저지특성을 사용하는데 용이하고, 개방형 링 공진기는 고주파대역에서 대역저지특성을 사용하는데 용이하다.

제작사양이 유전율 3.5, 기판두께 0.762mm, 도체두께 0.035mm인 제작된 대역통과 필터의 전체 크기는 가로 91mm, 세로 34mm이며, -3dB 되는 주파수대역은 측정결과 3.99GHz ~ 8GHz이다.

본 논문에서는 저주파대역의 대역저지특성과 고주파 대역의 저지특성을 조합하여 대역통과 필터를 구현한 형태이다. 이것은 단일구조 대역통과 필터가 저주파대역과 고주파 대역을 분리하여 수정하기 어려운 점을 보완할 수 있는 방법이다. 본 논문을 통해 설계된 구조는 저지대역이 각각의 구조를 가지고 있으므로 저주파대역과 고주파 대역을 분리하여 일부저지대역만 수정이 용이하다. 추후 연구가 더 이루어질 경우, 마이크로스트립 대역통과필터가 좀 더 소형화로서 구현할 수 있는 방안이 필요할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- [1] Kai Chang, "Compact, Low Insertion-Loss, Sharp - Rejection, and Wide-Band Microstrip Bandpass Filters", IEEE, Vol. 51, no. 4, pp. 1241-1246, April 2003.
- [2] 이종혁외, "Sprit-ring 공진기와 Spiral 공진기를 이용한 새로운 소형의 마이크로 스트립 대역저지 필터 설계", 한국전자과학회, pp. 796-808, 2007.
- [3] 이영훈외, "구형공진기와 계단 임피던스 개방 스테브를 사용한 고효율 광대역 대역통과 필터 특성", 한국전자과학회, pp. 200-207, 2009.
- [4] 김기래, "마이크로스트립 분리형 링공진기를 이용한 RF 발진기 구현", 한국정보통신학회, 17권, 2호, pp. 273-279, 2013
- [5] 이영훈외, "무선데이터통신을 위한 고효율 광대역 마이크로스트립 대역통과 필터 특성에 관한 연구", 한국전기전자학회, 제12권, 4호, pp. 225-233. 2008.
- [6] 김인선, "K-인버터를 이용한 직접 결합 급전 구조를 갖는 대역통과 필터", 한국전기전자학회, 제18권, 6호, pp. 639-647, 2007.
- [7] 김경근외, "두 개의 이중모드 공진기를 이용한 소형 이중대역통과필터", 한국전자과학회, 제21권, 12호, pp. 1447-1453, 2010.
- [8] 이정훈외, "SIR을 이용한 평행결합 선로의 소형 광대역 대역통과필터" 한국통신학회, Vol. 36, no. 4, pp.407-413, 2011.
- [9] 표현성외, "상하측 대역의 대역폭 조절이 가능한 이중대역 대역통과 필터 설계", 한국전자과학회, pp. 9-15, 2011.

## 감사의 글

많이 부족한 저를 늘 아낌없이 응원하여 주시고 지도해주신 박동국 지도교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 바쁘신 일정에도 심사해주신 양규식 교수님과 심준환 교수님께도 감사드립니다. 아울러 한국조선해양기자재연구원 배정철 본부장님, 강규홍 센터장님, 김태오 팀장님의 따뜻한 배려에도 감사말씀 올려드립니다.

파트타임으로 부족한 부분들을 함께 챙겨주었던 초고주파 및 안테나 실험실의 임지훈과 후배들, 그리고 주현진 조교님께도 감사드립니다.

논문 작업 중에 입덧으로 고생한다며 많이 걱정해주고 도와주었던 박진주, 최수연, 김승진, 임수연, 김가영, 김경은, 신민식, 김민경, 이계선에게도 고마움을 전합니다.

어려운 여건속에서도 항상 곁에서 든든한 버팀목이 되어 주었던 부모님들과 남편, 타지에서 꿈을 위해 새로운 공부에 도전하는 남동생, 그리고 아직은 배속에 있지만 튼튼히 잘 자라고 있는 마루가 큰 힘이 되었습니다.

저에게 많은 관심과 사랑을 베풀어 주신 모든 분들께 제 작은 결실을 바칩니다.